Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 2, June. July. 2022, p. 330- 342

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۱ ص.۳۴۲-۳۳۰

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir

Full Research Paper

Evaluation of the effect of non-thermal plasma on the physicochemical, technological and functional properties of wheat flour

Seyed Amir Tavakoli Lahijani[1], Fakhri Shahidi[*1], Mahmoud Habibian[3], Arash Koocheki[1]

Received: 2020.08.16
Accepted: 2020.10.03

How to cite this article:
Tavakoli Lahijani, S, A., Shahidi, F., Habibian, M., Koocheki, A. (2022). Evaluation of the effect of non-thermal plasma on the physicochemical, technological and functional properties of wheat flour. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. *18* (2), 330-342.

Abstract

Introduction: Bread has a major role in the diet of people in Iran. One of the important factors affecting the quality of bread is the quality of wheat flour protein called gluten. Gluten is the principal structure forming elements of most baked products, contributing to the elasticity, cohesiveness and viscosity characteristics of the dough. Thus, gluten substantially control the quality of wheat flour based products. Due to the importance of the role of gluten and the requirement for improving the flour quality, providing a simple, economical, and efficient method to improve the technical quality of wheat and bread is also an important and controversial challenge. Oxidizing agents are generally added to the wheat flour to accelerate the natural maturing and the flour becomes paler and yields dough with improved baking properties. However, increasing concern about their adverse effects has highlighted the need for the development of alternative oxidants. Atmospheric cold plasma (ACP) is an emerging advanced oxidation process which has recently drawn considerable interest from food scientists. Therefore, the objective of this study was to investigate the effect of non-thermal plasma treatments on the properties of wheat flour.

Materials and Methods: For this purpose, medium wheat flour was prepared from local silages and treated with ACP at 25V for 0, 2, 4, 6, 8 and 10 min. Chemical composition of flour samples (moisture content, protein and ash) were determined using standard methods (AACC, 2002). Color properties, damaged starch water soluble index, wet gluten, gluten index, zeleny and falling number values, water and oil absorption capacities, swelling power and solubility of wheat flour samples were also measured.

Results and Discussion: The results obtained from the measurement of properties for the treated and untreated flour showed that the water and oil absorptions, swelling power, and solubility, wet gluten, gluten index, Zeleny number and whiteness increased significantly with increasing time, while the pH, moisture content, b * and a * indices, were decreased by plasma treatment. In addition, the results showed that ACP conditions have a significant effect on functional properties that can be created floursand products with various characteristics. The results showed that plasma treatment affected the gluten index and wet gluten and techno functional properties of wheat flour. Overall, this study demonstrated that non-thermal plasma is a quick, efficient way to improve the technological properties of wheat flour, as an alternative to chemical oxidants.

Keywords: Cold plasma, Gluten, modification, Technological properties, Wheat flour

1. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Chemistry and Chemical Engineering Research Center of Iran, Tehran, Iran.
(*Corresponding Author Email: fshahidi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/IFSTRJ.V19I1.88117

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱٤۰۱ ص.۳٤۲-۳۰۷

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 2, June. July. 2022, p. 330- 342

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی تأثیر پلاسمای غیرحرارتی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد گندم

سیدامیر توکلی لاهیجانی[۱]- فخری شهیدی[۱*]- محمود حبیبیان[۲]- آرش کوچکی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲

چکیده

نظر به اهمیت نقش گلوتن در محصولات غله‌ای به‌ویژه نان و ضرورت اصلاح آرد، ارایه یک روش ساده، اقتصادی و کارا به‌منظور بهبود کیفیت تکنولوژیکی گندم و نان تولیدی، همچنان یک چالش مهم و بحث‌برانگیز می‌باشد. در این پژوهش تأثیر تکنولوژی نوین پلاسمای غیرحرارتی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد گندم بررسی شد. بدین منظور آرد گندم با گلوتن متوسط تهیه و تحت تاثیر زمان اعمال تیمار پلاسمای سرد (زمان صفر، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه) قرار گرفتند. نتایج آزمون‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که با افزایش زمان اعمال تیمار پلاسما، مقدار pH و رطوبت کاهش اما مقدار گلوتن مرطوب، اندیس گلوتن و حجم رسوب زلنی افزایش یافت، اندازه‌گیری پارامترهای کیفی و عملکردی آرد گندم نشان داد پارامتر *L، درصد نشاسته آسیب‌دیده، اندیس حلالیت، ظرفیت جذب آب و روغن و قدرت تورم آرد گندم افزایش معنی‌داری (P<۰/۰۵) یافت، در حالی که پارامترهای *a، *b و عدد فالینگ کاهش معنی‌داری (P<۰/۰۵) پیدا کرد. بنابراین می‌توان از تکنولوژی نوین پلاسمای سرد به‌ویژه زمان ۸ دقیقه در بهبود ویژگی‌های کیفی و عملکردی آرد گندم استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آرد، اصلاح، پلاسمای غیر حرارتی، گلوتن، گندم.

مقدمه

گندم اساسی‌ترین غله تأمین‌کننده غذای انسان است. در ایران نیز گندم، نان و سایر فرآورده‌های تولیدی از گندم بخش اساسی رژیم غذایی را تشکیل می‌دهند. در سال‌های اخیر کیفیت نان‌های ایرانی کاهش یافته که یکی از دلایل مهم آن مناسب نبودن کیفیت آردهای مورد استفاده برای تولید نان است (Sheikholeslami et al., 2010). کیفیت نان تا حدود زیادی به کمیت و کیفیت پروتئین آرد گندم یا همان گلوتن بستگی دارد. این پروتئین که گندم را از سایر غلات متمایز می‌نماید، نقش مهمی در تشکیل شبکه خمیر و ویژگی‌های خمیر و نان دارد (Patrignani et al., 2014; MacRitchie, 1984). نان‌های با گلوتن ضعیف اغلب بافت داخلی زبر، حجم کم و کیفیت پایینی داشته و از آن خمیری شل به‌دست می‌آید و نهایتاً حجم نان حاصل کمتر می‌شود. به‌منظور بهبود کیفیت آرد، یا باید آرد را برای مدتی نگهداری و هوادهی کرد یا از بهبوددهنده‌ها استفاده نمود تا بتوان با اکسیداسیون اجزاء مختلف آرد کیفیت آرد تولیدی را افزایش داد (Shahmiri et al., 2016). بهبوددهنده‌های شیمیایی ویژگی‌های فیزیکی گلوتن را اصلاح می‌کنند، به‌نحوی که نانی با کیفیت بهتر حاصل می‌شود ولی گزارش‌های متعددی در زمینه خطرناک بودن این مواد برای سلامتی بدن موجود است. به‌طوریکه برومات پتاسیم سبب بروز ضایعات سیستم عصبی می‌گردد و مقادیر بالای آن سمی است و یا آمونیوم پرسولفات سبب ایجاد بیماری های آلرژیک می‌گردد (Coultate, 2009). لذا با توجه به اهمیت نان در زنجیره غذایی، ضرورت یافتن و استفاده از روش‌های ایمن و ارزان از اهمیت زیادی برخوردار است. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی با تمرکز بر توسعه و دستیابی به تکنولوژی‌های نوین غیرحرارتی انجام پذیرفته است. عمدتا محبوبیت تکنولوژی‌های نوین غیرحرارتی به علت جلوگیری از اثرات نامطلوب فرایندهای حرارتی بر ماتریکس‌های غذایی است.

پلاسمای غیرحرارتی نیز تکنولوژی نوینی است که می‌توان با استفاده از آن، گروه‌های عاملی مختلف را بر سطوح مواد نشاند یا از تاثیر اکسیداسیون جزیی آن بر ترکیبات غذایی و بهبود ویژگی‌های نهایی فراورده‌های غذایی، استفاده نمود. در واقع پلاسمای غیرحرارتی به گاز یونیزه شده‌ای اطلاق می‌گردد که بخش کوچکی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یون‌های مثبت تبدیل شده باشد. پلاسما شامل یون‌های مثبت، الکترون، اتم و یا مولکول‌های گاز خنثی،

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- استادیار، گروه مهندسی شیمی، پژوهشکده نفت، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: fshahidi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/IFSTRJ.V19I1.88117

امواج UV، رادیکال‌های آزاد و مولکول‌ها و اتم‌های برانگیخته است (Fernandez et al., 2010; Fernandez & & Thompson, 2012). تاکنون اغلب مطالعات درباره کاربرد پلاسمای سرد بر مواد غذایی در حوزه اثرات میکروب‌زدایی و آلودگی‌زدایی انجام شده است و تأثیر این تکنولوژی نوین بر ترکیبات شیمیایی و ماکرومولکول‌های غذایی کمتر بررسی شده است. تحقیقاتی محدود نشان داده‌اند که این تکنولوژی توانایی اصلاح ویژگی‌های عملکردی ماکرومولکول‌ها مانند گلوتن موجود در آرد گندم (Menkovsk a et al ., 2014; Misra et al., 2015; Thirumdas et al., 2015; Zhang et al., 2014; Pankaj et al., 2015) و پروتئین آب پنیر (Segat et al., 2015) را داشته است. بنابراین با توجه به ضرورت استفاده از روش‌ها و ترکیبات بی‌خطر و نیز کاهش مدت زمان رسانیدن آرد، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر زمان مختلف اعمال تیمار پلاسما بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد حاصل از گندم بود.

مواد و روش‌ها

تهیه آرد و روش اعمال تیمار پلاسمای سرد

آرد گندم از کارخانه آرد ایران در استان تهران با درجه استخراج ۸۷ درصد تهیه گردید. آرد مورد استفاده ۱۳/۰۵ درصد رطوبت و ۱۱/۶۷ درصد پروتئین بود. آرد مورد استفاده در کیسه‌های پلاستیکی از جنس پروپیلن بسته‌بندی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سیستم پلاسمای مورد استفاده در این پژوهش از نوع سد دی‌الکتریک می‌باشد، که از دو الکترود موازی با شکل هندسی دایره‌ای تشکیل شده بود. برای بررسی تأثیر تیمار پلاسما از گاز هوا و شرایط اتمسفر معمولی استفاده گردید. در هر بار مقدار ۸ گرم نمونه آرد به صورت یکنواخت در سطح الکترود زیرین ریخته شده و تیماردهی در زمان‌های صفر، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه و در ولتاژ ۲۵ ولت صورت پذیرفت.

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه آرد گندم طی زمان اعمال تیمار پلاسمای سرد

pH نمونه‌های آرد با استفاده از pHمتر و ترکیب شیمیایی نمونه‌های آرد با استفاده از روش‌های استاندارد (AOAC, 1990) اندازه‌گیری شد. برای تعیین رطوبت از آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، تعیین پروتئین از روش کلدال (N× ۵/۷) و تعیین خاکستر از کوره ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد استفاده گردید. از استاندارد (AACC, 2002) (روش شماره ۱۱- ۳۸ و روش شماره ۱۲ –۳۸) و با استفاده از دستگاه گلوتن‌شوی خودکار (مدل ۲۲۰۰، برابندر، آلمان) جهت تعیین میزان گلوتن مرطوب و اندیس گلوتن استفاده شد. درصد گلوتن باقیمانده روی توری‌های دستگاه اندازه‌گیری گلوتن به کل گلوتن به‌عنوان اندیس گلوتن در نظر گرفته شد. حجم رسوب زلنی نیز بر حسب میلی‌لیتر مطابق استاندارد (AACC, 2002) (شماره ۱۱–۵۴) انجام پذیرفت.

ارزیابی ویژگی‌های کیفی و عملکردی نمونه آرد گندم طی زمان اعمال تیمار پلاسمای سرد

بررسی پارامترهای رنگ

برای تعیین پارامترهای رنگ (L*، a* و b*) نمونه‌های آرد، از رنگ‌سنج دیجیتال (مدل CR- 410، کونیتا مینولتا سنسینگ، ژاپن) استفاده شد. از یک پلیت پلاستیکی با قطر ۵۸ میلی‌متر و عمق ۱۵ میلی‌متر برای قرار دادن نمونه و اندازه‌گیری پارامترهای رنگ استفاده گردید. کالیبراسیون اولیه دستگاه از طریق کاشی استاندارد سفید صورت گرفت.

مقدار آسیب‌دیدگی نشاسته

برای اندازه گیری آسیب‌دیدگی نشاسته از روش غیرآنزیمی سریع و بر مبنای روش McDermott با اصلاحات جزیی انجام شد (McDermott, 1980). محلول استخراج کننده شامل ۱/۶۷ درصد اسید تری‌کلرو استیک و ۰/۵ درصد تیوسیانات پتاسیم و محلول رنگ‌کننده شامل ۰/۲ درصد کریستال ید و ۲ درصد یدور پتاسی بود. به مقدار ۰/۵ گرم آرد، ۲۰ میلی‌لیتر محلول استخراج‌کننده اضافه شد و عمل استخراج طی ۱۵ دقیقه انجام گردید. پس از صاف شدن محلول با کاغذ واتمن شماره یک، مقدار ۲ میلی‌لیتر به بالن ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و ۱ میلی‌لیتر محلول رنگ‌کننده به آن اضافه گردید. بالن به حجم رسانده شد و پس از ۳۰ دقیقه، مقدار جذب محلول در طول موج ۶۰۰ نانومتر دستگاه اسپکتروفتومتر (یو وی ۲۶۰۱، رای‌لی، چین)، خوانده شد و مقدار نشاسته آسیب دیده از طریق رابطه ۱ بر حسب فاراند به‌دست آمد.

آسیب‌دیدگی نشاسته = (۰/۹۷× جذب)+ ۲/۱ (۱)

ارزیابی فعالیت آلفاآمیلازی آرد

اندازه‌گیری فعالیت آلفا آمیلازی آرد با استفاده از روش استاندارد (AACC, 2002) (شماره ۸۱–۵۶) و با دستگاه فالینگ نامبر (مدل ۱۶۰۰، شرکت پرتن، سوئد) انجام شد. این روش بر اساس قابلیت منحصر به فرد آنزیم آلفاآمیلاز جهت مایع کردن ژل نشاسته است. فعالیت آنزیمی به‌وسیله عدد فالینگ اندازه‌گیری می‌شود که زمان مورد نیاز برای هم زدن و اجازه دادن به همزن برای سقوط در یک فاصله اندازه‌گیری شده در یک ژل آردی داغ تحت شرایط مایع کردن و بر حسب ثانیه می‌باشد.

میزان اندیس حلالیت در آرد

بررسی میزان حلالیت آرد بر اساس روش Ravaghi و همکاران (۲۰۱۰) با کمی اصلاحات انجام شد. ۴ گرم نمونه در ۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر توسط اولتراتوراکس به مدت ۱۰ دقیقه با دور rpm ۱۰۰۰۰ هموژن گردید و سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت g× ۳۰۰۰ سانتریفوژ شد. میزان حلالیت آرد یا همان میزان کل مواد جامد محلول در فاز رویی، از طریق خشک کردن فاز رویی و تقسیم کردن وزن آن بر وزن نمونه تعیین گردید (Ravaghi et al., 2010).

ظرفیت جذب آب و روغن

اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب و روغن بر اساس روش Feyzi و همکاران (۲۰۱۵) انجام گرفت. یک گرم آرد داخل یک لوله سانتریفوژ ریخته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر روغن آفتابگردان یا آب مقطر به آرد اضافه گردید و با استفاده از ورتکس (ریکس کنترل، هایدولف، آلمان)، به مدت ۲ دقیقه مخلوط شد. پس از این مرحله نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفتند و در مرحله بعد به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت g× ۳۰۰۰ سانتریفوژ شدند و فاز رویی (روغن یا آب) جدا گردید. ظرفیت جذب آب و روغن به‌صورت حجم آب یا روغن جذب شده (میلی‌لیتر) توسط هر گرم آرد، از طریق رابطه ۲ محاسبه گردید (Feyzi et al., 2015).

(۲) وزن آرد /(حجم اولیه آب یا روغن− حجم آب یا روغن جدا شده پس از سانتریفوژ)= ظرفیت جذب آب یا روغن

تعیین قدرت تورم

اندازه‌گیری قدرت تورم نمونه‌های آرد بر اساس روش Obadi و همکاران (۲۰۱۸) با اندکی تغییرات انجام شد. در این روش ۰/۵ گرم آرد داخل لوله های آزمایش دربدار ریخته شد. سپس ۱۵ گرم آب مقطر به آرد اضافه شده و پس از همزدن، در حمام آب گرم در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. نمونه‌های حرارت داده شده با حمام آب سرد به سرعت تا دمای اتاق سرد شدند و سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت g× ۳۰۰۰ سانتریفوژ شدند و فاز رویی جدا گردید. سپس وزن لوله به همراه رسوب به دقت اندازه‌گیری شد و پس از کم کردن وزن خالی لوله، وزن فاز باقیمانده (رسوب) محاسبه شد. قدرت تورم به‌عنوان درصد رسوب باقیمانده با استفاده از رابطه ۳ تعیین شد (Obadi et al., 2018).

(۳) (وزن آرد /وزن فاز رسوب)= قدرت تورم

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر تیمارهای پلاسما، از طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار استفاده گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور بررسی اثر زمان اعمال تیمار پلاسما (صفر، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه)، در ولتاژ ۲۵ ولت بر خواص فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد گندم با استفاده از طرح کاملا تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری (P<۰/۰۵) صورت گرفت، نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) آنالیز و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (Excel, 2007) استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه آرد گندم طی زمان اعمال تیمار پلاسمای سرد

نتایج تأثیر زمان مختلف اعمال تیمار پلاسما سرد بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه آرد گندم در جدول ۱ نشان داده شده است.

pH

با توجه به آنچه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان اعمال تیمار پلاسما، میزان pH نمونه‌ها به شکل معنی‌داری کاهش پیدا کرد (P≤ ۰/۰۵). به‌گونه‌ای که با توجه به نتایج به‌دست آمده، بالاترین میزان pH مربوط به نمونه شاهد و به میزان ۶/۴۴ و پایین‌ترین مقدار از pH در نمونه تحت تیمار پلاسما به مدت ۱۰ دقیقه مشاهده شد که به میزان ۵/۸۹ رسیده بود. اعمال تیمار پلاسمای سرد موجب تغییراتی در آرد می‌شود که این امر خود را با کاهش pH نشان داد. Misra و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند که طی اعمال پلاسما گاز اوزون، امواج UV، گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن و نیز الکترون تولید می‌شود که خاصیت اکسیدکنندگی قوی و یا توانایی اصلاح ساختار ماکرومولکول‌ها را دارند. در پژوهش انجام شده توسط (Misra et al., 2015) در زمینه اثرگذاری تیمار پلاسمای سرد اتمسفری روی ویژگی‌های عملکردی آرد گندم، مشخص شد که اعمال تیمار پلاسما موجب تغییر ساختار پروتئین موجود در آرد و همچنین تغییر ویژگی‌های سطحی گرانول‌های نشاسته موجود در ساختار آرد شده که این امر موجب تغییر پروفایل گروه‌های عاملی اسیدهای‌آمینه موجود در ساختار پروتئین آرد (گلوتن) و همچنین تغییر بار سطحی گرانول‌های نشاسته خواهد شد که در نهایت pH را در این سیستم کمپلکس تغییر و کاهش خواهد داد. Segat و همکاران (۲۰۱۵) نیز در بررسی تیمار پلاسمای سرد بر پروتئین آب پنیر بیان داشتند که میزان و شدت کاهش pH کاملا متأثر از واکنش گروه‌های فعال رادیکالی حاصل از اکسیژن و نیتروژن و همچنین واکنش مولکول‌های اوزون و گونه‌های تولید شده

با آمینو اسیدها است به گونه‌ای که اکسید شدن گروهای سولفیدریلی آمینواسیدها توسط گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) ، منجر به افزایش تشکیل اتصالات دی سولفیدی داخل و خارج مولکولی، و نیز تشکیل اسید سولفنیک یا سولفوریک می‌شود. علاوه بر این گونه‌های نیتروژن فعال (RNS) منجر به تشکیل نیتروژن اسید (HNO_2) و اسید نیتریک (HNO_3) از NO و NO_2 می‌شوند و در نهایت کاهش pH را به همراه دارند (Segat et al, 2015). در پژوهشی Sarangapani و همکاران (۲۰۱۵) در مورد بررسی اثر پلاسما با فشار کم بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد برنج پیش پخت نیز به اثرگذاری گروه‌های فعال رادیکالی تولید شده در زمان برقرای جریان پلاسما بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد برنج پیش‌پخت اشاره داشتند (Sarangapani et al., 2015). علاوه بر این، Lee و همکاران (۲۰۱۷) کاهش pH آرد را به اکسیداسیون کربوهیدرات‌ها، آمینواسیدها و اسیدهای چرب غیراشباع ناشی از گاز اوزون نسبت دادند که در طی آن، ترکیبات و گروه‌های عاملی اسیدی به‌وجود آمده و در نتیجه pH آرد کاهش می‌یابد (Lee et al., 2017).

جدول ۱- تأثیر زمان مختلف اعمال تیمار پلاسمای سرد بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد گندم

Table 1- The effect of different time of cold plasma treatment on physicochemical properties of wheat flour

حجم رسوب زلنی Volume of Zelani sediment	اندیس گلوتن (درصد) Gluten index (%)	گلوتن مرطوب (درصد) Wet gluten (%)	پروتئین درصد Protein (%)	خاکستر (درصد) Ash (%)	رطوبت (درصد) Moisture (%)	pH	مدت زمان اعمال تیمار پلاسما (دقیقه) Time (min)
18.25± 0.17^{d}	52.6± 0.2^{f}	23.1± 0.03^{e}	11.42± 0.18^{a}	0.765± 0.007^{a}	12.80± 0.03^{a}	6.44± 0.04^{a}	**0**
18.79± 0.2^{cd}	57.5± 0.1^{e}	23.3± 0.05^{d}	11.51± 0.09^{a}	0.768± 0.009^{a}	12.75± 0.05^{b}	6.38± 0.02^{b}	**2**
19.02± 0.23^{c}	60.3± 0.1^{d}	24.9± 0.06^{c}	11.35± 0.06^{a}	0.766± 0.001^{a}	12.72± 0.04^{bc}	6.24± 0.00^{c}	**4**
22.65± 0.42^{b}	66.4± 0.3^{c}	25.3± 0.04^{b}	11.41± 0.11^{a}	0.770± 0.004^{a}	12.68± 0.06^{c}	6.10± 0.01^{d}	**6**
23.34± 0.8^{a}	68.3± 0.2^{a}	25.8± 0.07^{a}	11.61± 0.2^{a}	0.772± 0.01^{a}	12.70± 0.03^{c}	5.91± 0.02^{e}	**8**
32.70± 0.8^{b}	65.9± 0.8^{b}	25.1± 0.1^{bc}	11.67± 0.14^{a}	0.772± 0.007^{a}	12.66± 0.01^{d}	5.89± 0.08^{e}	**10**

*بر اساس وزن خشک

رطوبت

مقدار رطوبت موجود در گندم و آرد یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر کیفیت آن است، زیرا مقدار مواد خشک آرد و دانه بستگی به مقدار رطوبت دارد. با توجه به جدول ۱، اعمال مدت زمان تیمار پلاسما تأثیر معنی‌داری بر درصد رطوبت نمونه‌های آرد داشت. با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین میزان رطوبت، در تیمار شاهد (۱۲/۸۰ درصد وزنی- وزنی) و پایین‌ترین رطوبت در تیمار تحت اعمال پلاسما به مدت ۱۰ دقیقه(۱۲/۶۶ درصد وزنی- وزنی) مشاهده شد. با اعمال تیمار پلاسما میزان رطوبت به شکل معنی‌داری (P<۰/۰۵) کاهش یافت که این امر می‌تواند در ارتباط با افزایش دما در هنگام برقراری تیمار پلاسما و نقش آن در خشک کردن فرآورده باشد. به‌گونه‌ای که با افزایش زمان اعمال پلاسما از صفر دقیقه به ۱۰ دقیقه، میزان انرژی اسمی منتقل شده به نمونه‌های آرد بالاتر بوده و در نهایت از میزان محتوای رطوبتی آن کاسته می‌شود. نتایج این پژوهش مشابه یافته‌های پژوهش انجام شده توسط (Pankaj et al, 2018) در مورد اثرگذاری پلاسما بر ویژگی‌های عملکردی ترکیبات موجود در مواد غذایی بوده که بنابر گزارش این پژوهشگران، دیپلیمریزاسیون ترکیبات درشت مولکول‌ها همانند نشاسته، هیدروکلوئیدها و پروتئین، موجب تسریع خروج رطوبت در اثر اعمال تیمارهای پلاسمای شدید است. همچنین نتایج مشابهی در پژوهش انجام شده توسط Bubler و همکاران (۲۰۱۵) در مورد بررسی تأثیر پلاسمای سرد بر خروج رطوبت از پروتئین نخود گزارش گردید (Bubler et al., 2015).

خاکستر

خاکستر به مجموعه مواد معدنی اطلاق می‌شود که بیشتر در لایه‌های بیرونی دانه غلات انباشته شده و غالبا در عملیات آسیاب از گندم جدا می‌شود. خاکستر موجود در آرد شاخصی از درصد استخراج آرد از گندم است که می‌تواند در کیفیت نهایی محصول و رنگ آن تأثیر بگذارد. نتایج ارزیابی‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان تیمار پلاسما، میزان خاکستر به‌طور نامحسوسی افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری میان خاکستر نمونه‌ها مشاهده نشد (P>۰/۰۵). احتمالا این افزایش به‌دلیل خروج رطوبت نمونه‌ها بر اثر اعمال تیمار پلاسما و افزایش سهم سایر اجزا بوده است. نتایج این پژوهش با نتایج Mehrafza (۲۰۱۶) و نیز Mendez و همکاران (۲۰۰۳) در مورد استفاده از گاز اوزون به‌عنوان بهبوددهنده خواص آرد در زمان‌های

مختلف اوزون‌دهی مطابقت داشت (Mendez et al., 2003; Mehrafza et al., 2016).

پروتئین

پروتئین‌های گندم به‌عنوان بهترین اجزای تعیین‌کننده کیفیت آرد شناخته شده‌اند و داشتن پروتئین بیشتر، اغلب با کیفیت نانوایی بهتر همراه است. اما به‌طور کلی مقدار پروتئین نمی‌تواند شاخص مناسبی برای تعیین کاربرد آردهای مختلف باشد. زیرا کیفیت پروتئین مهم‌تر از کمیت آن است که از طریق شاخص‌هایی مانند اندیس گلوتن و عدد زلنی تعیین می‌گردد. مطابق جدول ۱، با افزایش مدت زمان اعمال پلاسما، افزایش نامحسوسی در میزان پروتئین نمونه‌ها مشاهده شد ولی این تفاوت‌ها معنی‌دار نبودند (P> ۰/۰۵). دلیل افزایش اندک مقدار پروتئین با اعمال تیمار پلاسما را می‌توان اینگونه توجیه کرد که با توجه به خروج رطوبت در طی اعمال تیمارهای پلاسما، مشاهده افزایش درصد پروتئین نمونه‌ها قابل توجیه است. Mei و همکاران (۲۰۱۶) و نیز Lee و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر زمان مختلف اعمال گاز اوزون بر نمونه آردهای مختلف نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند (Mei et al., 2016; Lee et al., 2017).

گلوتن مرطوب

گلوتن مرطوب مجموعه پروتئین‌های غیرمحلول در آب و قابل استخراج از گندم است که از دو بخش گلوتنین و گلیادین تشکیل شده است. نقش اصلی گلوتنین ایجاد خاصیت ویسکوالاستیک و حالت دادن به خمیر است و نقش اصلی گلیادین جذب آب و تورم آرد است (Payan, 2006). با افزودن آب به آرد، این پروتئین‌ها به یکدیگر پیوند یافته و یک کمپلکس پروتئینی و توده به‌هم پیوسته‌ای را تشکیل می دهد که به آن شبکه گلوتنی می‌گویند (Cauvain, 2015). همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، زمان اعمال تیمار پلاسما تأثیر معنی‌داری بر میزان گلوتن مرطوب داشت به‌گونه‌ای که با افزایش زمان اعمال پلاسما، میزان گلوتن مرطوب به شکل معنی‌داری افزایش یافت. حداقل میزان گلوتن مرطوب در نمونه شاهد مشاهده گردید. آرد تحت تیمار پلاسما به مدت ۲ دقیقه تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت ولی پس از آن با افزایش زمان اعمال تیمار پلاسما، افزایش معنی‌داری در میزان گلوتن مرطوب مشاهده شد (P<۰/۰۵) به‌گونه‌ای که افزایش میزان گلوتن مرطوب در مدت زمان ۸ دقیقه حداکثر بود و سپس اندکی کاهش داشت. Misra و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند که یکی از گونه‌های فعالی که در طی اعمال پلاسما تولید می‌شود گاز اوزون می‌باشد که خاصیت اکسیدکنندگی قوی دارد. از گونه‌های فعال دیگری که در طی پلاسما تولید می‌شود رادیکال‌ها و گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن است. بنابراین علت افزایش میزان گلوتن مرطوب در این پژوهش را می‌توان اینگونه بیان کرد که طی اعمال تیمار پلاسما، به علت اکسیداسیون پروتئین آرد، پیوندهای دی‌سولفیدی جدیدی میان زنجیره‌های مختلف پروتئین بوجود می‌آید و یا آنکه گروه‌های دی سولفیدریل با پیوندهای دی‌سولفیدی موجود وارد واکنش می‌گردند و شبکه قوی‌تری را تشکیل می‌دهند که باعث افزایش میزان گلوتن مرطوب می‌گردد (Misra et al., 2015). این نتایج با یافته‌های حاصل از پژوهش‌های Mei و همکاران (۲۰۱۶) و Lee و همکاران (۲۰۱۷) در رابطه با اثر اکسیداسیون گاز اوزون بر نمونه آردهای مختلف مطابقت داشت که محققان بیان داشتند اکسیداسیون باعث باز شدن و تجمع مجدد گلوتن غیرمحلول و تشکیل پیوندهای دی‌سولفیدی شده و شبکه قوی‌تری تشکیل می‌شود. البته نتایج این محققان نشان داد با اکسیداسیون اضافی در زمان طولانی اعمال تیمار اوزون، یا غلظت‌های بالای گاز اوزون، ساختار گلوتن تخریب می‌شود و میزان گلوتن مرطوب و خواص جذب آب و ویسکوزیته خمیر کاهش پیدا می‌کند (Mei et al., 2016; Lee et al., 2017).

اندیس گلوتن

میزان پروتئین و مقدار گلوتن مرطوب نمی‌تواند به تنهایی معیاری برای کیفیت آرد استحصالی از گندم برای مصارف مختلف باشد. در تعیین خواص کاربردی یک آرد، موضوع قابل اهمیت، کیفیت گلوتن است که در ایجاد ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر نقش به‌سزایی دارد. کیفیت گلوتن با آزمایشات مختلفی ارزیابی می‌شود ولی دو روش اندیس گلوتن و عدد زلنی بیشتر استفاده می‌شود. اندیس گلوتن نشان‌دهنده نسبت گلوتن مرغوب به گلوتن نامرغوب و در واقع گویای کیفیت گلوتن است. همانطور که در جدول ۱ مشخص است، زمان اعمال تیمار پلاسما تأثیر معنی‌داری بر اندیس گلوتن دارد و با افزایش مدت زمان اعمال پلاسما اندیس گلوتن روند افزایشی از خود نشان داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بالاترین میزان از اندیس گلوتن در تیمار ۸ دقیقه و به میزان ۶۸/۳ درصد و پایین‌ترین میزان از این اندیس در نمونه شاهد به میزان ۵۳/۶ درصد مشاهده شد. Pankaj و همکاران (۲۰۱۸) اشاره داشتند که تغییرات اکسیداتیو پروتئین ممکن است وزن مولکولی و حلالیت آن‌ها را تغییر دهد و در نتیجه در تعاملات با آب توانایی آن‌ها برای تشکیل شبکه گلوتن را تغییر دهد (Pankaj et al., 2018). اکسیداسیون پروتئین‌ها توسط پلاسمای سرد پدیده اصلی است که می‌تواند باعث اصلاح حلالیت پروتئین و خواص تکنولوژیکی آرد شود. بسیاری از محققان معتقدند طی اکسیداسیون بر اثر تیمار پلاسما بخشی از پروتئین‌های گلوتن باز شده و زمینه برای واکنش و تشکیل پیوندهای جدید دی‌سولفیدی فراهم می‌گردد. علاوه بر این اکسیداسیون گروه

های عاملی موجود در سطح پروتئین، زمینه را برای افزایش تعداد و همچنین افزایش قدرت پیوندهای دی‌سولفیدی و در نتیجه تشکیل یک شبکه گلوتنی مستحکم فراهم می‌کند (Bahrami et al., 2016; Misra et al., 2015). به‌طورکلی قرار گرفتن آرد در معرض اکسیدانت‌ها می‌تواند سبب افزایش قدرت خمیر به‌واسطه اکسیداسیون گروه‌های سولفیدریل شود. سطوح بالای انرژی پلاسمای سرد باعث تغییر پروتئین و لیپید می‌شود تا حدی که قابلیت‌های آرد را تغییر می دهد. البته افزایش مدت زمان اکسیداسیون یا غلظت بالای اکسیدانت می‌تواند با تخریب فراکسیون گلوتن‌های با وزن مولکولی بالا باعث کاهش اندیس گلوتن شود (Zare Bahnamiri et al., 2016; Sheikholeslami et al., 2009).

حجم رسوب زلنی

اساس آزمون تعیین عدد زلنی بر این است که اگر پروتئین‌های گلوتن در آب یا محلول‌های شیمیایی رقیق قرار بگیرند، آب جذب کرده و متورم می‌شوند و به شکل رسوب ته‌نشین می‌شوند. بیشتر بودن محتوای گلوتن و بهتر بودن کیفیت آن سبب افزایش عدد زلنی می‌شود. بنابراین ارتباط مثبتی بین حجم رسوب و استحکام شبکه گلوتنی وجود دارد (Sheikholeslami et al., 2009). جدول ۱ تأثیر زمان اعمال تیمار پلاسما بر عدد زلنی آرد گندم را نشان می‌دهد. همانطور که واضح است عدد زلنی در تمامی نمونه‌ها با افزایش مدت زمان اعمال پلاسما افزایش یافت و البته مشابه موارد قبل در زمان‌های کمتر این تغییرات معنی‌دار نبود ولی با افزایش بیشتر زمان اعمال پلاسما از ۴ دقیقه به بالا عدد زلنی نمونه‌های آرد افزایش معنی‌داری پیدا کرد. دلیل نتیجه حاصل را می‌توان اکسیداسیون زیر واحدهای گلوتن و ایجاد پیوندهای دی‌سولفیدی در آن‌ها عنوان نمود. استفاده از فراصوت (Boyaghchi, 2016) و گاز اوزون (Mehrafza et al., 2016) برای اصلاح ویژگی‌های آرد نیز نتایج مشابهی داشت که علت آن را اکسیداسیون و باز شدن پروتئین گلوتن و تشکیل پیوندهای جدید دی‌سولفیدی عنوان کردند. Misra و همکاران (۲۰۱۵) و Segat و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند، تیمار پلاسما بر اساس اکسیداسیون و تشکیل گونه‌های جدید مانند رادیکال‌های آزاد و اکترون‌ها می‌تواند باعث باز شدن و تشکیل پیوندهای جدید در پروتئین‌ها گردد (Misra et al., 2015; Segat et al., 2015).

ارزیابی خصوصیات کیفی و عملکردی نمونه آرد گندم طی زمان اعمال تیمار پلاسمای سرد

نتایج تاثیر زمان‌های مختلف اعمال تیمار پلاسمای سرد بر ویژگی‌های کیفی و عملکردی نمونه آرد گندم در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- تاثیر زمان مختلف اعمال تیمار پلاسمای سرد بر خصوصیات کیفی و عملکردی آرد گندم

Table 2- The effect of different time of cold plasma treatment on quality and functional properties of wheat flour

مدت زمان اعمال تیمار پلاسما (دقیقه) Time (min)	L*	a*	b*	نشاسته آسیب دیده (درصد) Damaged starch (%)	عدد فالینگ (ثانیه) Falling number (s)	اندیس حلالیت (درصد) Solubility index (%)	قدرت تورم (گرم) Swelling power (g)
0	89.26± 0.14^{e}	-1.63± 0.13^{a}	8.10± 0.07^{a}	5.88± 0.03^{d}	403± 0.03^{e}	4.93± 0.2^{d}	6.25± 0.17^{e}
2	89.87± 0.12^{e}	-1.97± 0.13^{b}	8.30± 0.1^{a}	6.02± 0.08^{c}	425± 0.03^{c}	5.02± 0.2^{d}	6.77± 0.17^{d}
4	90.44± 0.23^{d}	-2.5± 0.1^{c}	7.78± 0.03^{b}	6.12± 0.1^{bc}	433± 0.03^{c}	5.35± 0.2^{c}	7.62± 0.17^{c}
6	91.26± 0.18^{c}	-3.2± 0.19^{d}	6.65± 0.1^{c}	6.2± 0.02^{b}	465± 0.03^{a}	5.93± 0.2 ^{b}	7.97± 0.17^{bc}
8	91.65± 0.1^{b}	-3.98± 0.03^{e}	6.10± 0.07^{d}	6.23± 0.04^{b}	450± 0.03^{b}	6.46± 0.2^{a}	8.61± 0.17^{a}
10	92.80± 0.07^{a}	-4.59± 0.26^{f}	5.26± 0.04^{e}	6.41± 0.09^{a}	413± 0.03 ^{d}	6.39± 0.2^{a}	8.30± 0.17^{b}

بررسی پارامترهای رنگ

رنگ آرد گندم یکی از ویژگی‌های مهم است که بر رنگ محصولات نهایی و پذیرش آن‌ها تأثیرگذار است. جدول ۲ بررسی پارامترهای رنگ، یعنی میزان اندیس L* (میزان روشنایی)، a* (قرمزی- سبزی) و b* (زردی- آبی) را در زمان‌های مختلف اعمال تیمار پلاسما نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان اعمال تیمار پلاسما، میزان روشنایی نمونه‌های آرد، به شکل معنی‌داری افزایش یافت (P≤ ۰/۰۵)، با این حال، افزایش مدت زمان تیمار پلاسما، اندیس b* و a* را به شکل معنی‌داری کاهش داد (P≤ ۰/۰۵). بالاترین میزان از اندیس روشنایی یا L* مربوط به نمونه تیمار شده با پلاسما به مدت ۱۰ دقیقه و به میزان ۹۲/۸۰ و پایین ترین مقدار روشنایی نیز در نمونه شاهد و به میزان ۸۹/۲۶ مشاهده شد. در مورد اندیس a* نیز، بالاترین مقدار مربوط به تیمار شاهد به میزان ۱/۶۳- و پایین‌ترین میزان از اندیس a* در نمونه تحت تیمار پلاسما

به مدت ۱۰ دقیقه و به میزان ۴/۵۹- به‌دست آمد. در مورد اندیس b* نیز بالاترین میزان در نمونه تیمار شده به مدت ۲ دقیقه و به میزان ۹/۰۳ که تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت و پایین‌ترین میزان از اندیس b* به میزان ۵/۲۶ در نمونه ۱۰ دقیقه تیمار شده با پلاسما مشاهده شد. طبق پژوهش‌های انجام شده توسط (Pal et al, 2016) که به بررسی اثر پلاسما بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دانه برنج و نیز که به بررسی اثر پلاسما بر ویژگی‌های برنج قهوه‌ای و باسماتی پرداخته بودند، نتایج بیانگر افزایش سفیدی همزمان با افزایش اندیس L* در تیمارهای برنج بود (Thirumdas et al., 2016; Thirumdas et al., 2015). این پژوهشگران علت بروز این پدیده را این‌گونه بیان داشتند که پلاسمای اتمسفری حاوی مقدار زیادی مولکول‌های فعال همانند (اوزون، اکسید نیتریک، پراکسید، رادیکال هیدروکسیل و غیره است که با حداقل انرژی در دمای اتاق در مدت چند ثانیه تا چند دقیقه بدون فرایند حرارتی تولید می‌شوند و به شدت با ترکیبات رنگی موجود در آرد واکنش داده و این امر موجب اکسیداسیون در آن‌ها خواهد شد. این اکسیداسیون موجب روشن‌تر شدن رنگ در فرآورده نهایی شده و بنابراین پارامتر L* افزایش و هم زمان a* و b* رو به کاهش می‌گذارد. این نتایج نشان می‌دهد که پلاسما توانایی اکسید کردن پیگمان‌های زرد و قرمز آرد گندم از قبیل کاروتنوئیدها، لوتئین، پیش پیگمان‌های کاروتنوئید که دارای پیوند مضاعف مزدوج بوده را دارا می‌باشد. همچنین در پژوهش انجام شده توسط Sui و همکاران (۲۰۱۶) که طی آن تأثیر اوزون بر نمونه‌های آرد گندم بررسی شده بود، نتایج مشابهی بدست آمد و ظاهری روشن و سفید برای نمونه‌ها به‌واسطه تجزیه رنگدانه‌های زرد طبیعی موجود به‌دست آمد. با این بررسی‌ها پلاسما می‌تواند به‌عنوان جایگزین بالقوه برای عامل سفیدکنندگی شیمیایی در آرد گندم به‌کار برده شود (Sui et al., 2016).

تعیین نشاسته آسیب‌دیده

نشاسته آسیب‌دیده به گرانول‌های نشاسته‌ای گفته می‌شود که به طور فیزیکی از حالت گرانولی اولیه خود خارج شده باشند. تغییرات در میزان نشاسته آسیب دیده در آرد می‌تواند باعث تغییراتی در میزان آب لازم، زمان اختلاط خمیر، قهوه‌ای شدن پوسته و ایجاد گاز در محصولات تخمیری آرد گردد. نشاسته آسیب‌دیده مساعد هیدرولیز توسط آمیلازها می‌باشد. طبق جدول ۲ میزان نشاسته آسیب دیده در نمونه‌های تیمار شده با پلاسما در مقایسه با نمونه شاهد افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد. بیشترین میزان نشاسته آسیب دیده در نمونه تحت تیمار پلاسما به مدت ۱۰ دقیقه مشاهد گردید. این نتایج نشان می‌دهد که پلاسما توانایی اکسید کردن و شکستن گرانول‌های نشاسته را دارد. این نتایج با یافته های حاصل از Mei و همکاران (۲۰۱۶) و Lee و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر گاز اوزون بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی آرد گندم مطابقت داشت (Mei et al., 2016; Lee et al., 2017). این محققان بیان داشتند اکسیداسیون نشاسته توسط گاز اوزون باعث تخریب و شکست نشاسته و افزایش میزان نشاسته آسیب دیده می‌شود. نتایج تحقیقات Zhang و همکاران (۲۰۱۴) و Pal و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد اعمال تیمار پلاسما توانایی اکسیداسیون و شکست مولکول‌های بزرگتر نشاسته را به مولکول‌های کوچکتر دارد که این به معنای افزایش نشاسته آسیب دیده می‌باشد. بنابراین علی‌رغم اینکه پلاسما باعث کاهش فعالیت آلفاآمیلاز می‌شود، ولی با شکستن مولکول‌های بزرگ نشاسته می‌تواند این نقص را جبران نماید (Zhang et al., 2014; Pal et al., 2016).

تعیین عدد فالینگ

آرد مناسب برای نانوایی بایستی عدد فالینگ در حد متوسط و حدود ۳۰۰ ثانیه داشته باشد. کمتر از این مقدار خمیر حاصل شل بوده و بیشتر از آن، قند کافی برای تخمیر در آرد وجود نخواهد داشت. جدول ۲ نشان می‌دهد که زمان اعمال پلاسما بر عدد فالینگ تاثیر معنی داری داشته و با افزایش مدت زمان اعمال پلاسما تا مدت ۶ دقیقه، عدد فالینگ افزایش یافت که نشانه کاهش فعالیت آمیلازی آرد بود. کمترین عدد فالینگ یا بیشترین فعالیت آنزیمی مربوط به نمونه شاهد (بدون تیمار پلاسما) بود و بیشترین عدد فالینگ یعنی کمترین فعالیت آنزیمی پس از اعمال مدت زمان ۶ دقیقه به‌دست آمد، در زمان‌های بالاتر اعمال پلاسما، عدد فالینگ کاهش پیدا کرد که می‌تواند به علت تخریب نشاسته ناشی از اکسیداسیون و کاهش ویسکوزیته محلول باشد. با توجه به اینکه پایین بودن بیش از حد فعالیت آنزیمی آرد، باعث تخمیر نامناسب نان و در نهایت عدم کیفیت آن خواهد بود، استفاده از زمان طولانی توصیه نمی‌شود. به‌طورکلی کاهش فعالیت آنزیمی در طی اعمال تیمار پلاسما را می‌توان اینگونه تفسیر کرد که به‌دلیل اکسیداسیون آنزیم بر اثر اعمال پلاسما، ساختمان این آنزیم تخریب شده و فعالیت آن کاهش می‌یابد که با افزایش زمان این تخریب شدیدتر می‌شود تا جایی که گرانول‌های نشاسته نیز آسیب خواهند دید. Misra و همکاران (۲۰۱۶)، در مقاله مروری در مورد تأثیر پلاسما بر فعالیت آنزیم های مختلف بیان داشتند در اثر پلاسما گونه‌های فعال شیمیایی تولید می‌شوند که واکنش شیمیایی این گونه‌های فعال با آنزیم‌ها و تغییر ساختار آنزیم بویژه ساختار دوم، باعث غیر فعال شدن آنزیم‌ها می‌شوند (Misra et al., 2016). از طرفی دیگر نیز این محققان بیان داشتند در مواردی اعمال تیمار پلاسما باعث تخریب دیواره سلولی گشته و با فراهم کردن امکان تماس بیشتر آنزیم با سوبسترا فعالیت آنزیم را بیشتر می‌کنند. میزان فعال شدن یا غیرفعال شدن این آنزیم‌ها، وابسته

به نوع آنزیم و ساختار آن، شدت اعمال پلاسما، زمان اعمال آن و نوع سیستم مورد استفاده برای اعمال پلاسما، نوع گاز و نوع گونه‌های تشکیل شده و محیط واکنش دارد. به نظر می‌رسد هرچه گونه‌های فعال اکسیژن بیشتری در طی اعمال تیمار پلاسما تولید شود، واکنش این گونه‌ها با زنجیره‌های آنزیم بیشتر شده و در نهایت با تخریب ساختار آنزیم، فعالیت آنزیمی به میزان بیشتری کاهش می‌یابد (Misra et al, 2016). Mei و همکاران (۲۰۱۶)، در بررسی تأثیر گاز اوزون بر ویژگی‌های آرد گندم بیان داشتند، استفاده از گاز اوزون باعث غیرفعال شدن آنزیم آلفاآمیلاز و در نتیجه افزایش عدد فالینگ می‌شود (Mei et al., 2016).

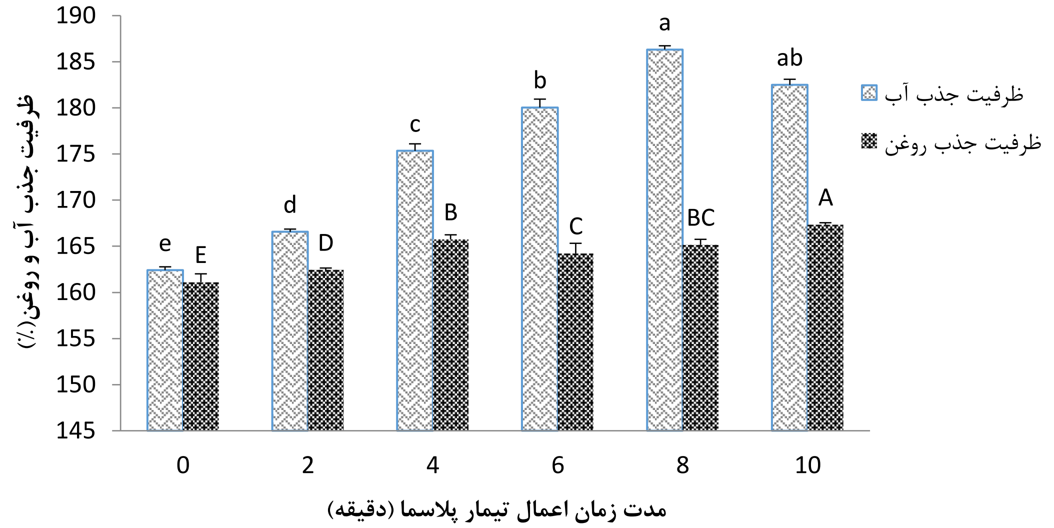
اندیس حلالیت در آب

جدول ۲ بررسی ویژگی‌های عملکردی نمونه‌های آرد در اثر اعمال تیمار پلاسما در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. بررسی میزان حلالیت تیمارهای آرد گندم نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان اعمال تیمار پلاسما تغییرات حلالیت کاملا محسوس بوده به‌گونه‌ای که شاهد افزایش معنی‌دار حلالیت در تیمارها بودیم (P≤ ۰/۰۵). که این امر به‌ویژه در مدت زمان‌های بالای اعمال پلاسما (۱۰ دقیقه)، کاملا به چشم می‌خورد (P≤ ۰/۰۵). طبق نتایج به‌دست آمده بالاترین میزان از حلالیت در نمونه تحت تیمار به مدت ۸ دقیقه و به میزان ۶/۴۶ درصد و پایین‌ترین میزان نیز در تیمار شاهد و به میزان ۴/۹۳ درصد به دست آمد. محققان مختلف در پژوهش‌های خود عنوان داشتند که اعمال پلاسما بـا ایجاد رادیکال‌های آزاد و شکستن سطحی‌ترین لایه مولکولی در ماکرومولکول‌ها و متعاقبا ایجاد گـروه‌هـای عـاملی در سـطح پلیمـر بـه‌واسـطه واکـنش ایـن گروه‌های عاملی بـا یکـدیگر و بـا مولکول‌های گازی محیط، بـه خـوبی می‌تواند ویژگی های آبگریزی را در پلیمرهای طبیعی کاهش و ویژگی‌های کارکردی آن‌ها همانند حل‌پذیری را مطلوب سازد (Segat et al., 2014; Misra et al., 2015; Bubler et al., 2015). بر همین اساس در پژوهش جاری میزان حلالیت در تیمارهای انتهایی اعمال پلاسما به مراتب افزایش یافت که این امر ناشی از افزایش تشکیل گونه‌های فعال و واکنش گروه‌های فعال رادیکالی با ترکیبات پلیمری موجود در آرد مانند نشاسته و پروتئین است. در پژوهش Sarangapani و همکاران (۲۰۱۵) در مورد بررسی اثر پلاسمای با فشار کم روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و همچنین کارکردی آرد برنج پیش پخت، گزارش شد که پارامتر حلالیت در آب، با افزایش مدت زمان اعمال تیمار پلاسما به ۱۰ دقیقه و همچنین افزایش توان سامانه پلاسما به ۵۰ وات، به شکل معنی‌داری بالا رفت (Sarangapani et al., 2015). این محققین علت این رخداد را مرتبط با شکست زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین در نشاسته، همزمان با اعمال تیمار پلاسما دانسته‌اند. به عبارت دیگر شکست زنجیره‌های بلند آمیلوئیدی، موجب ایجاد اجزاء با وزن مولکولی پایین‌تر شده که این امر حلالیت نمونه‌ها را با بالا می برد. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته های Obadi و همکاران (۲۰۱۸) و Lee و همکاران (۲۰۱۷) که در تحقیقاتی جداگانه تاثیر اوزون را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آردهای گندم بررسی کرده بودند، مطابقت داشت که علت آن را اکسیداسیون نشاسته به‌وسیله گاز اوزون دانستند که باعث تخریب ساختار نشاسته و شکست زنجیره های نشاسته می گردد (Obadi et al., 2018; Lee et al., 2017).

ظرفیت جذب آب

درصد جذب آب یکی از عوامل مهم در کیفیت آرد محسوب می‌شود که این پارامتر به کمیت و کیفیت پروتئین، میزان نشاسته و وزن مولکولی آن و نیز میزان فیبر بستگی دارد. افزایش جذب آب باعث می‌شود تا شبکه گلوتنی و در نهایت خمیر مناسب و یکنواختی تشکیل شود و ساختار مناسبی برای تولید نان پیدا کند که این خود باعث بهبود قابلیت پهن کردن خمیر، ازدیاد وزن نان و افزایش زمان ماندگاری محصول می‌گردد. طبق شکل ۱ اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها از نظر میزان جذب آب مشاهده شد به‌گونه‌ای که با اعمال تیمار پلاسما، جذب آب افزایش یافت. در همین راستا بیشترین میزان از جذب آب، در نمونه تحت تیمار پلاسما به مدت ۸ دقیقه و به میزان ۱۸۶/۳۳ درصد و پایین ترین میزان از جذب آب در تیمار شاهد و به میزان ۱۶۲/۴۱ درصد به‌دست آمد. به‌طور کلی باز شدن زنجیره های پروتئینی و قرار گرفتن گروه های هیدروفیل بیشتر در سطح و نیز شکست زنجیره‌های بلند آمیلوئیدی، و ایجاد اجزاء با وزن مولکولی پایین‌تر موجب می‌شود جذب آب ماکرومولکول‌ها افزایش یابد (Thirumdas et al., 2015; Segat et al., 2014). بر مبنای پژوهش انجام شده توسط Thirumdas و همکاران (۲۰۱۶) در مورد بررسی اثر پلاسمای سرد اتمسفری روی ویژگی‌های نشاسته برنج، مشخص شد که اعمال تیمار پلاسمای سرد اتمسفری بر نشاسته، باعث هیدرولیز و تشکیل زنجیره‌های با وزن مولکولی کمتر می‌شود (Thirumdas et al., 2016). از سویی دیگر اکسیداسیون سطحی گرانول‌ها در تماس با پلاسما اتفاق می‌افتد و با تغییر بار سطحی و نیز قرارگیری گروه های عاملی قطبی در سطح گرانول جذب آب نشاسته افزایش می‌یابد. Bubler و همکاران (۲۰۱۵)، در بررسی تاثیر پلاسمای سرد اتمسفری بر ویژگی‌های عملکردی پروتئین نخود، بیان داشتند که اوزون، اکسید نیتروژن و رادیکال‌های آزاد به‌وجود آمده همانند رادیکال هیدروکسیل و گونه‌های فعال نیتروژن، اشعه UV و غیره، موجب اصلاح خصوصیات سطحی پروتئین می‌گردد (Bubler et al., 2015). علاوه بر این شکست پروتئین

(دیپلیمریزاسیون) اتفاق می‌افتد. این افزایش در دیپلیمریزاسیون رابطه مستقیمی با افزایش جذب آب در تیمارها دارد چرا که باعث افزایش نسبت سطح به حجم در ذرات پلیمری موجود در نمونه‌ها شده و قابلیت واکنش آن با مولکول‌های آب را بالاتر می‌برد. یافته های حاصل از پژوهش های Obadi و همکاران (۲۰۱۸) و Lee و همکاران (۲۰۱۷) که در تحقیقاتی جداگانه تاثیر اوزون را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آردهای گندم بررسی کرده بودند، نیز با نتایج این پژوهش مطابقت داشت که علت آن را اثر اکسیدکنندگی گاز اوزون و تخریب ساختار نشاسته و تشکیل مولکول هایی با وزن مولکولی کمتر و در نتیجه افزایش جذب آب آرد دانستند (Obadi et al., 2018; Lee et al., 2017).



شکل ۱- تأثیر مدت زمان اعمال تیمار پلاسما بر ظرفیت جذب آب و روغن آرد گندم

Fig. 1. Effect of plasma treatment duration on water and oil absorption capacity of wheat flour

ظرفیت جذب روغن

جذب روغن بیشتر یک پدیده فیزیکی است به‌طوری‌که ترکیبات و بیوپلیمرهای موجود در نمونه باعث محبوس شدن و به دام افتادن قطرات روغن در داخل خود می‌شوند. بسیاری از پژوهشگران میزان جذب روغن را بـه زنجیـره‌های غیـرقطبی پروتئین‌ها که ممکن است با زنجیره‌های جانبی هیـدروکربنـی روغن پیوند برقرار کنند نسبت داده اند. هـرچـه ظرفیـت جـذب روغـن بـالاتر باشـد میـزان اسیدهای آمینه غیرقطبی در زنجیره جانبی غالب‌تر خواهد بود (Bubler et al., 2015). علاوه بر محتوای اسیدهای آمینه در آرد، ساختار پروتئین و همچنین قطبیت سطحی پروتئین‌ها و ذرات آرد نیز بر جذب روغن موثر است. البته بیشترین تغییرات جذب روغن را به تغییرات پروتئین‌ها در طی اعمال پلاسما نسبت داده‌اند. به‌گونه‌ای که نتایج محققان نشان داده اصلاح ویژگی‌های سطحی ماتریکس‌های پروتئینی و فیبری و نیز تغییرات ساختاری پروتئین‌ها در اثر اعمال پلاسما بسیار بیشتر از مولکول‌های نشاسته می باشد (Misra et al., 2015). نتایج بررسی اثر پلاسما، بر روی جذب روغن نشان داد که تیمار پلاسما موجب افزایش معنی‌داری در میزان جذب روغن نمونه‌های آرد گندم داشته است. با توجه به شکل ۱، بالاترین میزان از جذب روغن در نمونه تحت تیمار به مدت ۱۰ دقیقه و به میزان ۱۶۵/۸۵ درصد و پایین‌ترین میزان نیز در نمونه شاهد و به میزان ۱۶۱/۱۱ درصد به‌دست آمد. این مورد بیانگر در معرض قرار گرفتن پروتئین‌های با گروه‌های عاملی غیرقطبی و همچنین افزایش آبگریزی سطحی ذرات آرد تحت تاثیر اعمال جریان پلاسما است. Bubler و همکاران (۲۰۱۵)، در بررسی اثر پلاسما بر روی جذب آب و چربی پروتئین نخود بیان داشتند که پلاسمای سرد موجب افزایش ظرفیت جذب آب و چربی گردید که میزان این تغییرات، وابسته به مدت زمان قرار گرفتن در معرض تیمار پلاسما و ترکیب پروتئینی می‌باشد (Bubler et al., 2015). مشابه همین یافته‌ها نیز در پژوهشی Obadi و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر گاز اوزون بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد گندم، گزارش کردند در طی اعمال تیمار پلاسما، به‌دلیل اکسیداسیون نشاسته و تخریب فیزیکی و سطحی آن، خلل و فرجی در سطح نشاسته ایجاد می‌شود که اجازه می‌دهد روغن بیشتری به دام بیفتد و در نتیجه جذب روغن افزایش می‌یابد (Obadi et al., 2018).

قدرت تورم

قدرت تورم نشان‌دهنده میزان واکنش بین زنجیره‌های نشاسته در نواحی آمورف و کریستالی می‌باشد (Chan et al, 2009). افزایش قدرت تورم، تحت تأثیر نسبت آمیلوز و آمیلوپکتین، اندازه مولکول، طول زنجیره جانبی آمیلوپکتین و شکل فضایی مولکول قرار دارد (Singh & Kaur., 2004). با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول ۲، با افزایش مدت زمان اعمال تیمار پلاسما، قدرت تورم نمونه‌های آرد، به شکل معنی‌داری افزایش پیدا کرد (P≤ ۰/۰۵). بیشترین میزان از تورم، مربوط به نمونه تحت تیمار پلاسما به مدت ۸ دقیقه و به میزان ۸/۶۱ گرم و پایین‌ترین میزان از قدرت تورم در تیمار شاهد و به میزان ۶/۲۵ گرم به‌دست آمد. افزایش قدرت تورم رابطه مستقیمی با جذب آب و حلالیت ذرات آرد در اثر اعمال جریان پلاسما دارد. به عبارت دیگر برای ایجاد ویژگی‌های عملکردی ذرات آرد، ابتدا می‌بایست این ذرات حل‌پذیری مطلوبی در آب داشته باشند که زمینه‌ساز جذب آب بالاتر خواهد بود (Sarangapani et al., 2015). بر همین اساس، افزایش مدت زمان اعمال تیمار پلاسما موجب بالاتر رفتن قدرت تورم در تیمارهای آرد می‌شود. در توجیه این پدیده می‌توان گفت که حضور گروه‌های آب دوست، تشکیل پیوندهای جدید هیدروژنی و همچنین چگالی بار الکتریکی در سطح گرانول‌های نشاسته نقش حیاتی در این فرآیند دارد. چراکه با اعمال تیمار پلاسما، میزان pH در تیمارهای آرد رو به کاهش گذاشته و این سبب می‌شود گروه‌های کربوکسیل موجود در ذرات نشاسته، تمایل کمتری به از دست دادن پروتون داشته باشد و این رخداد ایجاد پیوندهای هیدروژنی را در نمونه‌های آرد در زمان انحلال در آب بالاتر برده و بنابراین نیروها یا پیوندهای ضعیف همانند پیوندهای واندروالسی که در این حالت تحریک می‌شوند بالاتر رفته و اتصال فیزیکی آب به مولکول های آرد و در نهایت، قدرت تورم بالاتر خواهد بود (Thirumdas et al, 2015). از سویی دیگر بنا بر پژوهش Pankaj و همکاران (۲۰۱۸)، اعمال تیمار پلاسما می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر بر اصلاح ویژگی‌های نشاسته مورد استفاده قرار گیرد، به‌گونه‌ای که اعمال تیمار پلاسما موجب استیلاسیون نشاسته شده و این امر ویژگی‌های آبدوستی نشاسته را بالاتر برده و هم‌زمان قدرت تورم را بهبود خواهد داد (Pankaj et al., 2018). Pal و همکاران (۲۰۱۶) نیز در بررسی اثر پلاسما روی ارقام مختلف برنج مشاهده کردند که اعمال پلاسما موجب افزایش قدرت تورم می‌شود که می‌تواند به علت قرار گرفتن گروه‌های هیدروفیل در سطح گرانول های نشاسته برنج باشد (Pal et al., 2016). تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل آمیلوز و آمیلوپکتین موجب تشکیل شبکه و نگهداری آب می‌شود. حضور این گروه‌های قطبی موجب دسترسی نواحی آمورف نشاسته به آب شده و بنابراین قدرت تورم به شکل معنی داری بالاتر خواهد رفت. در بررسی اثر گاز اوزون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد گندم توسط Obadi و همکاران (۲۰۱۸)، نیز نتایج مشابهی گزارش شد. این محققان بیان کردند در طی اعمال تیمار اوزون و اکسیداسیون نشاسته مولکول‌هایی با وزن مولکولی کمتر تشکیل می‌شود (Obadi et al., 2018). از طرفی با واکنش گونه‌های فعال اکسیژن و تشکیل گروه‌های کربوکسیلی آبدوست در سطح گرانول های نشاسته، قدرت تورم افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر زمان‌های مختلف اعمال تیمار پلاسما بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد حاصل از گندم انجام شد. طبق نتایج مربوط به آزمون‌های فیزیکو شیمیایی، با افزایش زمان اعمال تیمار پلاسما مقدار pH و رطوبت کاهش معنی‌داری یافت در حالی‌که مقدار گلوتن مرطوب، اندیس گلوتن و حجم رسوب زلنی افزایش معنی‌داری پیدا کرد، اما در مقدار خاکستر و پروتئین آرد گندم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در ادامه طبق بررسی‌های به عمل آمده در مورد ویژگی‌های کیفی و عملکردی آرد گندم مشاهده شد، با افزایش زمان اعمال تیمار پلاسما پارامتر *L، درصد نشاسته آسیب دیده، اندیس حلالیت، ظرفیت جذب آب و روغن و قدرت تورم آرد گندم افزایش معنی‌داری یافت، در حالیکه پارامترهای *a، *b و عدد فالینگ کاهش معنی‌داری پیدا کرد. این گونه به‌نظر می‌رسد که به‌طورکلی افزایش زمان اعمال تیمار پلاسما تاثیر مثبت و معنی‌داری بر بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کیفی و عملکردی آرد گندم داشته است و لازم است تا تحقیقات دیگری در مورد مقایسه این روش با ترکیبات شیمیایی رساننده آرد و نیز بررسی نوع ترکیبات تولید شده در طی اکسیداسیون با پلاسما از جنبه سلامتی صورت پذیرد.

منابع

1. American Association of Cereal Chemists. (2002). Approved methods of the AACC methods. 10th ed. St. Paul. Minn.
2. AOAC. (1990). Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International.
3. Bahrami, N., Bayliss, D., Chope, G., Penson, S., Perehinec, T., & Fisk, I. D. (2016). Cold plasma: A new technology to modify wheat flour functionality. *Food Chemistry*, 202, 247-253. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.113

4. Boyaghchi, M. (2016). The effect of adding vitamin C and applying ultrasound waves on physicochemical, rheological properties and bakery quality of bug wheat flour. Master Thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University-Maku branch.
5. Bubler, S., Steins, V., Ehlbeck, J., & Schlüter, O. (2015). Impact of thermal treatment versus cold atmospheric plasma processing on the techno-functional protein properties from Pisum sativum 'Salamanca'. *Journal of Food Engineering*, 167, 166-174. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.036
6. Cauvain, S.P. (2015). Technology of breadmaking. 3rd ed. Springer, Cham.
7. Chan, H. T., Bhat, R., Karim, A. A. (2009). Physicochemical and functional properties of ozone-oxidized starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(13), 5965-5970. https://doi.org/10.1021/jf9008789
8. Chittrakorn, S., Earls, D., MacRitchie, F. (2014). Ozonation as an alternative to chlorination for soft wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 217-221. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.02.013
9. Coultate, T. (2009). Food: the chemistry of components. 5th ed. R.S.C.London.
10. Fernández, A., & Thompson, A. (2012). The inactivation of Salmonella by cold atmospheric plasma treatment. *Food Research International*, 45(2), 678-684. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.009.
11. Fernandez-Gutierrez, S. A., Pedrow, P. D., Pitts, M. J., Powers, J. (2010). Cold atmospheric-pressure plasmas applied to active packaging of apples. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 38(4), 957- 965. DOI: 10.1109/TPS.2010.2042078.
12. Feyzi, S., Varidi, M., Zare, F., & Varidi, M. J. (2015). Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) seed protein isolate: extraction optimization, amino acid composition, thermo and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(15), 3165-3176. https://doi.org/10.1002/jsfa.7056.
13. Lee, M. J., Kim, M. J., Kwak, H. S., Lim, S. T., Kim, S. S. (2017). Effects of ozone treatment on physicochemical properties of Korean wheat flour. *Food science and biotechnology*, 26(2), 435-440. https://doi.org/10.1007/s10068-017-0059-5
14. MacRitchie, F. (1984). Baking quality of wheat flours. Advances in Food and Nutrition Research, 29, 201-277. https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60058-0.
15. McDermott, E. E. (1980). The rapid non-enzymic determination of damaged starch in flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31(4), 405-413. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740310411.
16. Mehrafza, E. (2016). Effect of Ozone constitutional water on physicochemical properties of bug wheat and its flour. Master Thesis, Faculty of Agriculture, SABA College of Higher Education.
17. Mei, J., Liu, G., Huang, X., Ding, W. (2016). Effects of ozone treatment on medium hard wheat (*Triticum aestivum* L.) flour quality and performance in steamed bread making. *CyTA-Journal of Food*, 14(3), 449-456. https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1133714.
18. Mendez, F., Maier, D. E., Mason, L. J., Woloshuk, C. P. (2003). Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. *Journal of Stored Products Research*, 39(1), 33-44. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00015-2.
19. Menkovska, M., Mangova, M., Dimitrov, K. (2014). Effect of cold plasma on wheat flour and bread making quality. *Macedonian Journal of Animal Science*, 4(1), 27-3.
20. Misra, N. N., Kaur, S., Tiwari, B. K., Kaur, A., Singh, N., Cullen, P. J. (2015). Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 44, 115-121. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.019.
21. Misra, N.N., Pankaj, S.K., Segat, A., Ishikawa, K. (2016). Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems, *Trends in Food Science Technology*, DOI: 10.1016 /j.tifs.2016.07.001.
22. Obadi, M., Zhu, K. X., Peng, W., Sulieman, A. A., Mohammed, K., Zhou, H. M. (2018). Effects of ozone treatment on the physicochemical and functional properties of whole grain flour. *Journal of Cereal Science*, 81, 127-132. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.04.008
23. Pal, P., Kaur, P., Singh, N., Kaur, A., Misra, N. N., Tiwari, B. K., Cullen, P. J. Virdi, A. S. (2016). Effect of nonthermal plasma on physico-chemical, amino acid composition, pasting and protein characteristics of short and long grain rice flour. *Food Research International*, 81, pp.50- 57. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.019
24. Pankaj, S. K., Bueno-Ferrer, C., Misra, N. N., O'Neill, L., Tiwari, B. K., Bourke, P., Cullen, P. J. (2015). Dielectric barrier discharge atmospheric air plasma treatment of high amylose corn starch films. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 1076-1082. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.027
25. Pankaj, S. K., Wan, Z., Keener, K. M. (2018). Effects of cold plasma on food quality: A review. *Foods*, 7(1), 4. https://doi.org/10.3390/foods7010004
26. Patrignani, M., Conforti, P. A., Lupano, C. E. (2014). The role of lipid oxidation on biscuit texture during storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(8), 1925-1931. https://doi.org/10.1111/ijfs.12550
27. Payan, R. (2006). Introduction to Technology of Cereal Products. Aige Pub. Iran.
28. Ravaghi, M., Mazaheri Tehrani, M., Asodeh, A. (2010). Evaluation of performance characteristics of four types of soy flour produced in Iran. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6(3), 223-228.

29. Sarangapani, C., Devi, Y., Thirundas, R., Annapure, U. S., Deshmukh, R. R. (2015). Effect of low-pressure plasma on physico-chemical properties of parboiled rice. *LWT-food Science and Technology*, 63(1), 452- 460. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.026
30. Segat, A., Misra, N. N., Fabbro, A., Buchini, F., Lippe, G., Cullen, P. J., Innocente, N. (2014). Effects of ozone processing on chemical, structural and functional properties of whey protein isolate. *Food Research International*, 66, 365-372. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.002
31. Segat, A., Misra, N. N., Cullen, P. J. Innocente, N. (2015). Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of whey protein isolate model solution, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 247-254. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.03.014
32. Shahmiri, A., Seyedin Ardabili, S. M., Hosseini, S. A., Aghagholi zadeh, R. (2016). Effect of storage conditions on physicochemical and pharynographic properties of wheat flour. *Food Science and Technology*, 13(51), 89-102.
33. Sheikholeslami, Z., Mortazavi, S. A., Pourazarang, H., Nasiri, M. (2009). Effect of guar gum and ascorbic acid on rheological and baking properties of insect damaged wheat flour. *Electronic Journal of Food Processing and Preservation*, 1(3), 65-82.
34. Sheikholeslami, Z., Mortazavi, S. A., Pourazarang, H., Nasiri, M. (2010). The effect of ultrasound on Dough rheological properties and bread characteristics of wheat damaged by wheat bug. *Food Science and Technology*, 7(2), 39-49.
35. Singh, N., & Kaur, L. (2004). Morphological, thermal, rheological and retrogradation properties of potato starch fractions varying in granule size. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84(10), 1241-1252. https://doi.org/10.1002/jsfa.1746
36. Sui, Z., Yao, T., Zhong, J., Li, Y., Kong, X., Ai, L. (2016). Ozonation treatment improves properties of wheat flour and the baking quality of cake. Philippine Agricultural Scientist, 99(1).
37. Thirumdas, R., Deshmukh, R. R., Annapure, U. S. (2015). Effect of low temperature plasma processing on physicochemical properties and cooking quality of basmati rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 83-90. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.08.003
38. Thirumdas, R., Deshmukh, R. R., Annapure, U. S. (2016). Effect of low temperature plasma on the functional properties of basmati rice flour. *Journal of food science and technology*, 53(6), 2742-2751. https://doi.org/10.1007/s13197-016-2246-4
39. Thirumdas, R., Saragapani, C., Ajinkya, M. T., Deshmukh, R. R., Annapure, U. S. (2016). Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 53-60. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.009
40. Zare Bahnamiri, Z., Motamedzadegan, A., Naqhavi, M., Hamzeh, SH. (2016). The effect of conveying of flour on the qualitative indicators of wheat flour. Conference on Science & Technology of Cereals, Bread & Flour Products.
41. Zhang, B., Xiong, S., Li, X., Li, L., Xie, F. and Chen, L., (2014). Effect of oxygen glow plasma on supramolecular and molecular structures of starch and related mechanism. *Food Hydrocolloids*, 37, pp.69-76. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.034.